

Méthode d'estimation de résidu de la porteuse, estimateur et système de modulation avec asservissement de la porteuse l'utilisant

5

L'invention concerne une méthode d'estimation du résidu de la porteuse. Notamment, cette estimation du résidu de la porteuse permet l'asservissement de la porteuse lors de la modulation et/ou de la démodulation de signaux émis, par exemple, par des systèmes de diffusion et de communication.

Les systèmes de diffusion et de communication comportent un émetteur effectuant la modulation d'un signal avant transmission et un récepteur démodulant le signal reçu. Le couple modulateur/démodulateur doit être stable et présenter une précision déterminée (même s'il est stable) afin d'avoir les performances requises.

Un nombre croissant d'applications dans le domaine de la diffusion et des communications utilisent l'OFDM. Une des possibilités de cette technique est l'utilisation comme pilote de la fréquence porteuse centrale pour les autres porteuses. Dans ce cas, la dégradation de la précision peut être liée à une mauvaise réjection du résidu de la porteuse centrale. Ainsi, la qualité de la réjection peut s'avérer insuffisante pour certaines applications et/ou certains utilisateurs.

De manière générale, ce problème est appelé problème de résidu de la porteuse. En effet, il apparaît aussi dans des systèmes utilisant une seule fréquence porteuse centrale (e.g., modulation 8-VSB).

Aujourd'hui, dans le cadre des systèmes de diffusion DVB-T, dans les zones où les émetteurs fournissent un signal avec une porteuse insuffisamment précise, certains récepteurs peuvent être dans un mode qui ignore la porteuse centrale. Cela entraîne une dégradation du signal en réception en terme de rapport d'erreur de modulation (MER, modulation error ratio) mais aussi de taux d'erreurs binaires (BER, bit error rate).

2

Dans le cas de la norme DVB-T par exemple, qui utilise la modulation OFDM, les radio-diffuseurs souhaitent obtenir en sortie d'émetteur un rapport d'erreur de modulation (MER, modulation error ratio) d'au minimum 30 dB et un taux d'erreur binaire (BER) avant Viterbi de 10^{-5} minimum. Or, avec une porteuse centrale dégradée, le rapport d'erreur de modulation MER est souvent inférieur à 30 dB et le taux d'erreur binaire BER est supérieur à celui requis par les radio-diffuseurs, par exemple de l'ordre de 10^{-3} .

10

Pour améliorer la qualité de réjection de la porteuse, diverses solutions sont envisageables.

Notamment, des moyens de passage en fréquence intermédiaire peuvent être utilisés. Le problème est ainsi annulé en théorie mais l'utilisation de plusieurs synthétiseur au lieu d'un seul est nécessaire. En outre, cette méthode implique des contraintes au niveau du filtrage car le signal n'est plus en bande de base.

Une autre solution est le réglage manuel fréquents des modulateurs. Cette méthode nécessite des appareil de mesure externes performants comme des analyseur de modulation (par exemple, du type EFATM, analyseur de modulation DVB-T). En outre, cette solution ne permet pas une adaptation rapide. Et, elle nécessite la présence permanente d'un opérateur qualifié.

25

Un autre inconvénient de ces solutions est quelles sont des solutions très coûteuses.

Une autres solution est l'asservissement d'un système à modulation IQ directe par un système à démodulation directe. En effet, un système de modulation directe possède un certain nombre de commandes ou paramètres de compensation pour agir sur les défauts de résidu de porteuse. Actuellement, l'asservissement d'un système à modulation IQ

30

3

directe par un système à démodulation directe est limité à la précision intrinsèque du démodulateur.

Pour résoudre le problème de résidu de la porteuse, une solution
5 actuellement utilisée est la suivante. Dans une première étape, le
démodulateur est calibré par un signal de test particulier en entrée du
démodulateur. Mais, cette étape a une limite en terme de précision qui
vient de ce que tout changement du signal d'entrée du démodulateur par
rapport au signal d'exploitation se traduit par une imprécision sur ce
10 réglage. Dans une deuxième étape, le signal entre l'entrée du système et
la voie de retour est mesurée. Là encore, la précision est limitée. Cette
limitation vient des paramètres suivants de qualité du codeur, de précision
de la mesure et des traitements du signal. Dans une troisième étape, le
résidu de la porteuse centrale est annulée.

15

La qualité de réjection de la porteuse centrale atteinte avec cette
méthode peut tout de même s'avérer insuffisante pour certaines
applications et utilisateurs. Pour améliorer ce système, l'utilisation de
composants plus performants est envisageable (composants ayant une
20 réjection de porteuse plus forte, ayant une meilleure précision...).
Toutefois, l'utilisation de ce type de composants rend la solution très
coûteuses.

La présente invention permet de palier ces inconvénients en
permettant d'estimer le résidu de porteuse de manière plus précise tout en
25 conservant une méthode à coût raisonnable.

Un objet de l'invention est une méthode d'estimation de résidu de la
porteuse comportant :

- La variation d'un gain complexe Z appliqué au signal reçu s entre au
30 moins deux valeurs $Z1$ et $Z2$;
- La mesure de la position ($PD1$, $PD2$) de la porteuse centrale du signal
 s démodulé pour chacun des gains ($Z1$, $Z2$) appliqués ;
- Le calcul d'au moins une partie du résidu de la porteuse à partir des
positions mesurées $PD1$ et $PD2$ et des gains appliquées $Z1$ et $Z2$, la

4

partie du résidu de la porteuse calculée (offset_mod) correspondant au résidu dû au modulateur.

- L'invention concerne, en outre, un estimateur de résidu de porteuse
- 5 mettant en œuvre la méthode d'estimation ci dessus et comportant :
- des moyens de variation de gain (M1) permettant de faire varier un gain complexe Z appliqué au signal reçu s entre au moins deux valeurs prédéterminées $Z1$ et $Z2$;
 - des moyens de mesure et de calcul (M2) permettant de mesurer la
- 10 position (PD1, PD2) de la porteuse centrale du signal s démodulé pour chacun des gains ($Z1$, $Z2$) appliqués et de calculer d'au moins une partie du résidu de la porteuse à partir des positions mesurées PD1 et PD2 et des gains appliquées $Z1$ et $Z2$, la partie du résidu de la porteuse calculée (offset_mod) correspondant au résidu dû au
- 15 modulateur.

Un autre objet de l'invention est un système de modulation avec asservissement de la porteuse comportant :

- Un modulateur recevant le signal à moduler m et fournissant le signal
- 20 modulé s à émettre
- Un estimateur de résidu de porteuse recevant le signal modulé s ,
 - Un démodulateur recevant le signal S_z provenant des moyens de variation du gain M1 et fournissant aux moyens de mesure et de calcul le signal démodulé d ,
- 25 – Des moyens d'asservissement de la porteuse permettant d'ajouter au signal à moduler m le résidu de porteuse dû au modulateur (offset_mod) fourni par les moyens de mesure et de calcul M2.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description, faite à titre d'exemple, et des

30 figures s'y rapportant qui représentent :

- Figure 1, un schéma de principe d'un système de modulation IQ avec asservissement selon l'état de l'art,
- Figures 2a et 2b, les performances du système de modulation IQ avec asservissement selon l'état de l'art, la figure 2a

5

représentant le spectre obtenu en sortie du démodulateur et la figure 2b représentant le taux d'erreur de modulation MER (modulation error rate),

- 5 – Figure 3, un schéma de principe d'un système de modulation IQ avec asservissement utilisant l'estimateur de résidu de porteuse selon l'invention,
- Figure 4, un exemple générique des moyens de variation de gain M1 de l'estimateur de résidu de porteuse selon l'invention,
- Figure 5, un exemple de réalisation des moyens de variation de gain M1 de l'estimateur de résidu de porteuse selon l'invention,
- 10 – Figure 6, un exemple générique des moyens de mesure et de calcul M2 de l'estimateur de résidu de porteuse selon l'invention,
- Figure 7, un exemple de réalisation des moyens de mesure et de calcul M2 de l'estimateur de résidu de porteuse selon l'invention
- 15 pour des application avec porteuse centrale non nulle,
- Figure 8, un schéma de principe des moyens d'asservissement de la porteuse dans le modulateur,
- Figure 9, un schéma de principe des moyens d'asservissement de la porteuse dans le démodulateur,
- 20 – Figures 10a et 10b, les performances, respectivement en terme de taux d'erreur binaire BER et taux d'erreur de modulation MER (modulation error rate), du système de modulation IQ avec asservissement selon l'invention.

25 Actuellement les systèmes de modulation directe réalisés par des modulateurs IQ souffrent de certains défauts provenant de leur réalisation.

Typiquement un système de modulation directe possède un certain nombre de commandes ou paramètres de compensation pour agir sur ces défauts. L'asservissement d'un système à modulation IQ directe, par un

30 système à démodulation directe est actuellement limité à la précision intrinsèque du démodulateur.

La figure 1 représente une solution actuellement utilisée pour résoudre ce problème de résidu de la porteuse.

Le signal à moduler m est traité par le modulateur 1 connecté à un oscillateur LO. Le signal modulé m est amplifié par un amplificateur 2 avant d'être émis sur la sortie RF (radio fréquence) 3. Afin d'asservir le modulateur 1, le signal retour s est traité par des moyens de calibrage 4 avant d'être démodulé pour permettre à des moyens d'asservissement 6 recevant le signal démodulé d de commander le modulateur 1 et le démodulateur 5 IQ. Le démodulateur IQ 5 est connecté à un oscillateur LO fournissant la même fréquence locale qu'au modulateur.

Dans une première étape, les moyens de calibrage 4 envoient en entrée du démodulateur 5 un signal test particulier à la place du signal retour s . Le signal test permet de calibrer le démodulateur 5. Cette étape entraîne, toutefois, une limitation de la précision. Cette limitation de la précision vient du fait que tout changement du signal d'entrée du démodulateur par rapport au signal d'exploitation se traduit par une imprécision sur ce réglage.

Dans une deuxième étape, les moyens de calibrage 4 transmettent en entrée du démodulateur 5 le signal retour s . Les moyens d'asservissement 6 mesurent le signal à l'entrée du système (avant le modulateur 1) et sur la voie de retour en sortie du démodulateur 5. Cette étape entraîne, elle aussi, une limitation de la précision. Cette limitation de la précision vient de plusieurs paramètres, notamment elle est liée à la qualité du codeur, à la précision de la mesure, et aux différents traitements du signal. En particulier, la mesure faite à l'entrée du modulateur 1 permet de prendre en compte le résidu de porteuse induit par le modulateur mais pas celui induit par les traitements amonts (notamment, les erreurs de troncature du signal).

Dans une troisième étape, les moyens d'asservissements 6 viennent annuler le résidu de porteuse centrale, par exemple en injectant

7

un offset de tension sur les voies I et Q , cet offset étant asservi sur les mesures de la deuxième étape.

La qualité de réjection de la porteuse centrale atteinte avec cette
5 méthode s'avère insuffisante pour certaines applications et utilisateurs .

La figure 2a montre le spectre obtenu en sortie du modulateur dans le cas de l'utilisation de l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex, ou multiplexage par division fréquentielle orthogonale). Dans la
10 zone hachurée autour de la fréquence porteuse centrale f_c , la réception est de mauvaise qualité du fait du pic de puissance apparaissant autour de cette fréquence.

La figure 2b montre le taux d'erreur de modulation MER. Ce taux
15 MER tombe à 0dB à la fréquence porteuse centrale f_c . Or, pour des applications tels que la télévision numérique (DVB-T par exemple), le taux doit être de l'ordre de 30 dB minimum en sortie d'émetteur. Le taux d'erreur binaire ainsi obtenue en sortie d'émetteur au niveau de la fréquence porteuse centrale f_c est d'environ 10^{-3} au lieu des 10^{-5}
20 nécessaires à certaines applications.

Les défauts affectant la porteuse centrale peuvent être modélisé de la manière suivante:

25 Le signal de référence m a une composante continue égale avec une position PA. PA est la position théorique de la composante continue du signal avant modulation. Cette position PA est décalé par le résidu de porteuse offset_mod introduit par le modulateur 1 pour atteindre la position PB. PB est donc la position de la porteuse centrale après
30 modulation. C'est cette position qui est obtenue dans les récepteurs après égalisation du canal de transmission .

Le signal modulé m est amplifié par un gain complexe Z entre le modulateur et le démodulateur. En effet, tous les gains de la chaîne de

8

transmission peuvent être rapportés en cet endroit. L'application de ce gain Z décale la fréquence porteuse centrale de la position PB vers la position PC. Donc, PC est la position de la porteuse centrale après application du gain Z .

5

Le signal est alors démodulé : le démodulateur 5 en introduisant un résidu de porteuse offset_demod décale la fréquence porteuse centrale de la position PC à la position PD. PD est la position relevée sur le signal de retour d.

10

Donc, la position de la fréquence porteuse centrale du signal en sortie du démodulateur 5' en fonction de la position théorique de la composante continue du signal avant modulation peut s'écrire comme suit :

15

$$PD = \text{offset_demod} + Z * (\text{offset_mod} + PA)$$

Ce système possède 3 inconnues : offset_demod , offset_mod , Z . Et, la position théorique de la composante continue du signal PA est une constante du système, définie par la nature du signal :

- 20
- $PA = 0$ pour la modulation 8-VSB (norme ATSC) , pour les modulations de TV analogique (normes PAL / SECAM / NTSC)
 - $PA \neq 0$ pour la modulation OFDM (norme DVB-T). Par exemple, $PA = -4/3$ en DVB-T .

25

La figure 3 montre un schéma de principe du système d'asservissement de la fréquence porteuse selon l'invention permettant de déterminer le résidu de porteuse offset_mod induit par le modulateur 1', et le résidu de porteuse offset_demod induit par le démodulateur 5'.

30

La méthode mise en œuvre par ce système est de faire varier volontairement les caractéristiques du gain complexe Z de la voie de retour, afin de séparer la contribution offset_mod du modulateur de la contribution offset_demod du démodulateur au niveau de l'offset mesuré sur le signal de retour.

Dans le cas où la position de la fréquence porteuse centrale est non nulle $PA \neq 0$, cette méthode comporte aussi l'estimation à partir du signal de retour le gain complexe Z appliqué au signal et la position de la porteuse centrale par rapport à sa position théorique.

5

Le signal m est fourni au modulateur 1' qui fournit un signal modulé m à l'amplificateur 2. Le signal obtenu s est émis sur la sortie RF 3. Le signal s est le signal entrant sur la voie de retour du système d'asservissement de la porteuse.

10

Conformément au premier point de la méthode exposée ci-dessus, des moyens de variation de gain complexe $M1$ reçoivent le signal s . Ces moyens de variation de gain fournissent un signal sZ correspondant au signal de retour s auquel un gain Z donné a été appliqué.

15

La figure 4 montre un schéma générique des moyens de variation de gain complexe $M1$. Les moyens de variation de gain complexe $M1$ comporte des moyens d'application $M1_1$ de gain(s) complexe(s) appliquant des gains complexes différents $Z1$, $Z2$ à la voie de retour s , suivi de moyens de sélection $M1_2$ permettant de sélectionner le signal retour $s_{\rightarrow \text{dem}} = s_Z = s_{Z1}$ ou s_{Z2} correspondant, respectivement, au gain $Z1$ ou $Z2$ en fonction d'un signal de commande c .

20

Le gain $Z1$ peut être appliqué à un instant donné ($t1$) et durant une période prédéterminé $T1$ et le gain complexe $Z2$ à un instant donné $t2$ et durant une période prédéterminé $T2$.

25

Une réalisation possible des moyens de variation de gain complexe $M1$ est présentée par la figure 5. Les moyens de variation de gain complexe $M1$ comporte 2 relais UHF ainsi qu'un coupleur UHF 0° - 90° , placé sur le chemin du retour. Le coupleur 0° - 90° constitue les complexe sur la deuxième sortie est égale à $Z2 = Z1 \cdot e^{j\varphi/180}$, avec φ proche de 90° .

30

Dans une autre réalisation possible des moyens de variation de gain complexe M1, les gains Z1 et Z2 peuvent être tels que $Z2 = -Z1$. Le coupleur M1₁ des moyens de variation de gain complexe M1 peut être ainsi remplacé par un transformateur ou un amplificateur afin d'obtenir un
5 tel déphasage de 180 °.

D'autres déphasage peuvent être obtenu, en utilisant comme moyens d'application de gain M1₁ une longueur électrique pour obtenir le déphasage désiré .
10

Une liaison L_{2→1}, par exemple une liaison de type RS232, entre les moyens de mesure et de calcul et les moyens de variation de gain M1 permet de choisir de connecter à la sortie de M1 soit la sortie 0° du coupleur, soit la sortie 90° du coupleur : $s_{\rightarrow \text{dem}} = s_z = s_{z1}$ ou s_{iz1} .
15 Notamment, comme le montre la figure 4, cette liaison L_{2→1} peut effectuer la commande des relais qui constituent les moyens de sélection M1₁.

Dans un autre mode de réalisation de M1, les relais M1₂ peuvent être remplacés par des commutateurs en combinaison avec l'un
20 quelconque des modes de réalisation des moyens d'application du gain M1₁.

Le signal s_z obtenu par les moyens de variation de gain M1 est fourni au démodulateur 5' utilisant la même fréquence locale que le
25 démodulateur 1'.

Conformément au deuxième point de la méthode exposée ci-dessus, les moyens de mesure et de calcul M2 estime le gain complexe Z appliqué. Comme le montre la figure 6, ces moyens de mesure et de
30 calcul M2 reçoivent le signal retour démodulé d (= d_{z1} ou d_{z2} en fonction du gain appliqué) et fournissent les commandes d'asservissement au modulateur 1' afin de supprimer le résidu de porteuse introduit par le modulateur.

La méthode mise en œuvre par les moyens de mesure et de calcul M2 comporte :

- La mesure des positions PD1 et PD2 de la porteuse centrale du signal démodulé pour chacun des gains appliqués, respectivement d_{z1} et d_{z2} ;
5 et
- Le calcul de la partie du résidu de la porteuse (offset_mod) correspondant au résidu dû au modulateur à partir des positions mesurées PD1 et PD2 et des gains appliquées Z1 et Z2.

10 Cette méthode d'estimation peut prévoir qu'une autre partie du résidu de la porteuse soit calculée à partir des positions mesurées PD1 et PD2 et des gains appliquées Z1 et Z2. Cette autre partie du résidu de la porteuse calculée correspond au résidu dû au démodulateur (offset_demod). Comme le montre la figure 3, les moyens de mesure et de
15 calcul M2 peuvent ainsi fournir des commandes d'asservissement c'_a aussi au démodulateur 5' afin de supprimer le résidu de porteuse introduit par le démodulateur.

20 Selon le type de modulation, les moyens de mesure et de calcul M2 peuvent être réalisés de différentes manières pour mettre en œuvre cette méthode d'estimation du résidu de porteuse.

Dans une première variante, particulièrement adaptée pour les modulations dont la porteuse centrale est nulle ($P_A=0$), telles que par
25 exemple 8-VSB, les moyens de mesure et de calcul M2a peuvent comporter un dispositif de mesure. Le dispositif de mesure vient relever les positions PD1 et PD2 de la porteuse centrale en sortie du démodulateur pour chacun des gains Z1 et Z2 respectifs. Les moyens de mesure et de calcul M2 effectuent ensuite la minimisation de la différence
30 entre les deux positions mesurées $\|PD2 - PD1\|$ pour obtenir la commande d'asservissement c'_a faisant converger le résidu de porteuse offset_mod dû au modulateur vers zéro.

12

En effet, les moyens de mesure et de calcul M2a étant adapté aux modulations pour lesquelles $PA=0$ (par exemple 8-VSB), l'équation de la position PD de la fréquence porteuse centrale du signal en sortie du démodulateur 5' en fonction de la position théorique PA de la composante continue du signal avant modulation est simplifiée :

$$PD = \text{offset_demod} + Z \cdot \text{offset_mod}$$

Donc, afin d'annuler le résidu de porteuse offset_mod dû au modulateur 1', les moyens de mesure et de calcul M2 effectue alors la recherche des paramètres d'asservissement c'a qui minimisent le terme $\| PD2 - PD1 \|$, car

$$PD1 = \text{offset_demod} + Z1 \cdot \text{offset_mod} \text{ et}$$

$$PD2 = \text{offset_demod} + Z2 \cdot \text{offset_mod},$$

donc $\text{offset_mod} = (PD2 - PD1) / (Z2 - Z1)$,
d'où $\| \text{offset_mod} \| = K * \| PD2 - PD1 \|$,
avec $K = 1 / \| Z2 - Z1 \|$ est une constante strictement positive dépendant uniquement $Z1$ et $Z2$.

Cette recherche du minimum peut être effectuée par diverses méthodes du type « gradient », parmi d'autres.

Dans une deuxième variante, particulièrement adaptée pour les modulations dont la porteuse centrale est non nulle ($PA \neq 0$), telles que par exemple OFDM, les moyens de mesure et de calcul M2b peuvent comporter un dispositif de mesure. Le dispositif de mesure vient relever les positions PD1 et PD2 de la porteuse centrale en sortie du démodulateur pour chacun des gains $Z1$ et $Z2$ respectifs.

Par rapport à la solution apportée pour le cas de la position de la porteuse centrale nulle $PA=0$, les moyens de mesure et de calcul M2b de cette deuxième variante comporte des moyens permettant de séparer les valeurs de offset_mod et de PA à partir des mesures PD1 et PD2.

13

A cet effet, les moyens de mesure et de calcul M2b mesure le gain complexe Z appliqué à partir du signal démodulé d.

Dans l'exemple illustré par la figure 7, les moyens de mesure et de calcul M2b peuvent comporter un démodulateur OFDM simplifié qui permet de mesurer le gain complexe Z appliqué à un signal OFDM comme le montre la figure 7. Le démodulateur simplifié comporte des moyens de synchronisation M2₁ recevant le signal démodulé d, des moyens de transformation de Fourier M2₂ (par exemple de type FFT, Fast Fourier Transform ou transformée de Fourier rapide) connectés à la sortie des moyens de synchronisation M2₁ et fournissant la porteuse centrale de la voie retour f_c et les porteuses pilotes f_g. Le gain Z est alors estimé par des moyens d'estimation de gain M2₃ à partir des porteuses pilotes du signal démodulé d.

15

Les moyens de mesure et de calcul M2b connaissant la valeur de Z appliqué viennent alors appliquer un gain de 1/Z à la position de la porteuse centrale PD mesurée, dans notre exemple, par les moyens de transformation de Fourier M2₂. Cela permet d'obtenir la position PF de la porteuse centrale correspondant à :

20

$$PF = PA + \text{offset_mod} + \text{offset_demod} \cdot (1/Z)$$

Puis, les moyens de mesure et de calcul M2b effectuent une opération de différence entre la valeur ainsi obtenue et la porteuse centrale théorique PA (par exemple, PA = - 4/3 en DVB-T) permettant d'obtenir l'offset relatif de la porteuse centrale par rapport à la position théorique dans la constellation pour chaque valeur de Z : offset_f1 et offset_f2.

30

$$\text{offset_f} = PF - PA = \text{offset_mod} + \text{offset_demod} \cdot (1/Z)$$

Les moyens de mesure et de calcul M2b effectue ensuite l'opération $\text{offset_f1} - \frac{1}{Z1} \frac{(\text{offset_f2} - \text{offset_f1})}{((1/Z2) - (1/Z1))}$ permettant d'obtenir la

14

partie du résidu de la porteuse dû au modulateur (offset-mod). En outre, les moyens de mesure et de calcul M2b peuvent effectuer l'opération pour obtenir la partie du résidu de la porteuse dû au démodulateur (offset_dém).

5

La précision maximale pour le calcul des résidus de porteuse offset_mod et offset_dem est obtenue dans le cas particulier $Z2 = -Z1$, qui correspond à un déphasage de 180° . De manière générale, il est conseillé dans la réalisation de M1 de prendre un déphasage assez grand entre $Z1$ et $Z2$.

10

Les moyens de mesure et de calcul M2b cherche ensuite les paramètres d'asservissement c'_a faisant converger les variables offset_mod et offset_demod vers zéro pour réaliser l'asservissement de la porteuse.

15

Les figures 8 et 9 proposent des schémas de principe décrivant un mode de réalisation d'asservissement, respectivement, d'un modulateur IQ et d'un démodulateur IQ.

20

Le modulateur IQ 1' de la figure 8 reçoit le signal à moduler m sous la forme de deux signaux en quadrature I_m et Q_m : $m = I_m + iQ_m$, et les paramètres d'asservissement c'_a qui correspondent dans ce cas à l'estimation du résidu de porteuse introduit par le modulateur offset_mod, eux aussi sous la forme de deux signaux en quadrature offset_im et offset_qm : $\text{offset_mod} = -\text{offset_im} - i \text{offset_qm}$. Le signal à moduler m et les paramètres d'asservissement sont additionner respectivement en phase et en quadrature avant d'être moduler par la fréquence local LO.

25

30

De la même manière, le démodulateur IQ 5' de la figure 9 reçoit le signal à démoduler s sous la forme de deux signaux en quadrature, et les paramètres d'asservissement c'_a qui correspondent dans ce cas à l'estimation du résidu de porteuse introduit par le modulateur offset_dém,

eux aussi sous la forme de deux signaux en quadrature offset_id et offset_qd : $\text{offset_demod} = -\text{offset_id} - i \text{offset_qd}$. Le signal à démoduler d est démodulé par la fréquence local LO avant d'être additionné avec les paramètres d'asservissement respectivement en phase et en quadrature, pour obtenir le signal démodulé asservi $d = I_d + iQ_d$.

Ainsi, pour faire converger offset_mod , on joue sur les paramètres d'asservissement du modulateur (offset_im et offset_qm), et pour faire converger offset_demod , on joue sur les paramètres d'asservissement du démodulateur (offset_id et offset_qd).

La figure 10a montre les performances en terme de taux d'erreur binaire BER obtenu à l'aide du système de modulation IQ avec asservissement selon l'invention. Dans l'exemple illustré par la figure 10a, le taux d'erreur binaire a évolué, pendant 24 heures, en moyenne entre 10^{-6} et 10^{-7} , i.e. en dessous des 10^{-5} requis par les radio-diffuseurs.

La figure 10b montre les performances en terme de rapport d'erreur de modulation MER obtenu à l'aide du système de modulation IQ avec asservissement selon l'invention. Le rapport d'erreur de modulation MER obtenu est d'environ 35dB quelque soit la fréquence sauf autour de la fréquence où il est légèrement inférieur. Toutefois, ce rapport MER reste supérieur à 30 dB comme requis par les radio-diffuseurs.

Cette méthode d'estimation du résidu de porteuse selon l'invention peut être mis en œuvre par tous dispositifs et/ou dans toutes applications nécessitant une estimation précise du résidu de porteuse afin d'éviter une dégradation de ses performances.

REVENDEICATIONS

1. Méthode d'estimation de résidu de la porteuse caractérisé en ce qu'elle
5 comporte :
 - La variation d'un gain complexe Z appliqué au signal reçu s entre au moins deux valeurs $Z1$ et $Z2$;
 - La mesure de la position ($PD1$, $PD2$) de la porteuse centrale du signal s démodulé pour chacun des gains ($Z1$, $Z2$) appliqués ;
 - 10 – Le calcul d'au moins une partie du résidu de la porteuse à partir des positions mesurées $PD1$ et $PD2$ et des gains appliquées $Z1$ et $Z2$, la partie du résidu de la porteuse calculée ($offset_mod$) correspondant au résidu dû au modulateur.
2. Méthode d'estimation selon la revendication précédente caractérisé en
15 ce que le gain $Z1$ est appliqué à un instant donné ($t1$) et durant une période prédéterminé $T1$ et le gain complexe $Z2$ à un instant donné $t2$ et durant une période prédéterminé $T2$.
3. Méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que $Z2 = -Z1$.
- 20 4. Méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que une autre partie du résidu de la porteuse calculée à partir des positions mesurées $PD1$ et $PD2$ et des gains appliquées $Z1$ et $Z2$ correspond au résidu dû au démodulateur ($offset_dém$).
- 25 5. Méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le calcul d'au moins une partie du résidu de la porteuse comporte la minimisation de la différence entre les deux positions mesurées $\|PD2 - PD1\|$.
6. Méthode d'estimation selon la revendication précédente caractérisé en
30 ce que la minimisation est effectuée par une méthode du type « gradient ».
7. Méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 ou 4 caractérisée en ce que le calcul d'au moins une partie du résidu de la porteuse comporte :
35 – la mesure du gain Z à partir du signal démodulé d ,

- l'application à la position mesurée PD d'un gain $1/Z$ avant la mesure de la position de la porteuse et
- la différence entre la valeur ainsi obtenue et la porteuse centrale théorique permettant d'obtenir une estimation du résidu de la porteuse
- 5 pour chaque valeur de Z ($offset_f1$ et $offset_f2$), et
- l'opération $offset_f1 - \frac{1}{Z1} \frac{(offset_f2 - offset_f1)}{((1/Z2) - 1/Z1)}$ permettant d'obtenir

la partie du résidu de la porteuse dû au modulateur ($offset_mod$).

8. Méthode d'estimation selon la revendication précédente caractérisé en ce que le calcul d'au moins une partie du résidu de la porteuse comporte
- 10 l'opération $\frac{(offset_f2 - offset_f1)}{((1/Z2) - 1/Z1)}$ permettant d'obtenir la partie du résidu

de la porteuse dû au démodulateur ($offset_dém$).

9. Estimateur de résidu de porteuse mettant en œuvre la méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 caractérisé en ce qu'il comporte :

- 15 – des moyens de variation de gain (M1) permettant de faire varier un gain complexe Z appliqué au signal reçu s entre au moins deux valeurs prédéterminées $Z1$ et $Z2$;
- des moyens de mesure et de calcul (M2) permettant de mesurer la position (PD1, PD2) de la porteuse centrale du signal s démodulé pour
- 20 chacun des gains ($Z1$, $Z2$) appliqués et de calculer d'au moins une partie du résidu de la porteuse à partir des positions mesurées PD1 et PD2 et des gains appliquées $Z1$ et $Z2$, la partie du résidu de la porteuse calculée ($offset_mod$) correspondant au résidu dû au modulateur.
- 25 10. Estimateur selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comporte une liaison entre les moyens de variation du gain (M1) et les moyens de mesure et de calcul (M2) permettant aux moyens de mesure et de calcul (M2) de choisir le gain ($Z1$, $Z2$) appliqué par les moyens de variation du gain (M1).
- 30 11. Estimateur selon la revendication précédente caractérisé en ce que les moyens de variation du gain comporte 2 relais UHF ou 2 commutateurs: le premier recevant le signal s auquel le gain $Z1$ a été appliqué, le deuxième recevant le signal s auquel le gain $Z2$ a été appliqué, le relais

correspondant au gain (Z1, Z2) choisi par les moyens de mesure et de calcul (M2) étant relié à la sortie des moyens de variation du gain (M1)

12. Estimateur selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11 caractérisé en ce que les moyens d'application des gains comporte :

- 5 – soit un coupleur 0° - 90° recevant le signal modulé s et transmettant ce signal s sur sa sortie 0° (Z1), et le signal s déphasé de 90° sur sa sortie 90° (Z2),
- soit un transformateur ou un amplificateur recevant le signal modulé s et transmettant ce signal s (Z1), et le signal s déphasé de 180° (Z2),
- 10 – soit une longueur électrique l recevant le signal modulé s et transmettant ce signal s (Z1), et le signal s déphasé de ϕ fonction de l (Z2).

13. Système de modulation avec asservissement de la porteuse comportant un modulateur recevant le signal à moduler m et fournissant le signal modulé s à émettre caractériser en ce qu'il comporte :

- 15 – Un estimateur selon l'une quelconque des revendications 10 à 12 recevant le signal modulé s,
- Un démodulateur recevant le signal S_z provenant des moyens de variation du gain M1 et fournissant aux moyens de mesure et de calcul le signal démodulé d,
- 20 – Des moyens d'asservissement de la porteuse permettant d'ajouter au signal à moduler m le résidu de porteuse dû au modulateur (offset_mod) fourni par les moyens de mesure et de calcul M2.

14. Système de modulation selon la revendication précédente caractérisé en ce que les moyens d'asservissement de la porteuse permettent en outre d'ajouter au signal démodulé d le résidu de porteuse dû au démodulateur (offset_dém) fourni par les moyens de mesure et de calcul M2 avant de fournir le signal démodulé corrigé aux moyens de mesure et de calcul M2.

30 15. Utilisation de la méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 pour une modulation avec porteuse centrale nulle.

16. Utilisation de la méthode d'estimation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ou 7, ou 8 pour une modulation avec porteuse centrale non nulle.

1/5

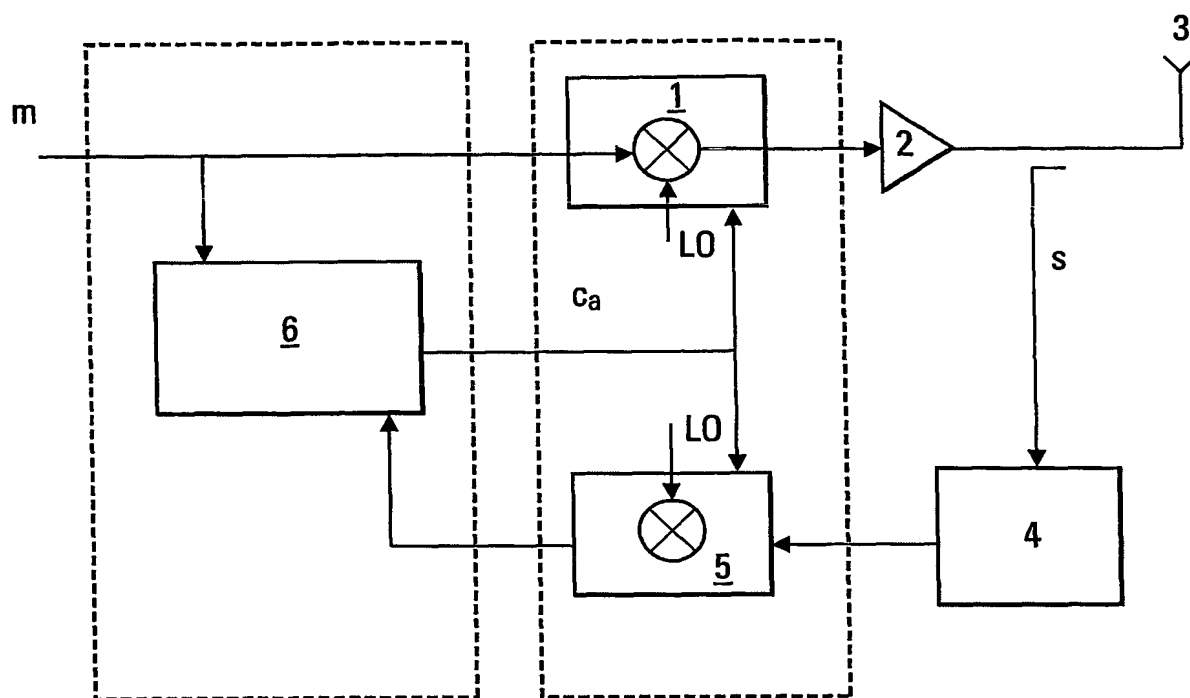


Fig. 1

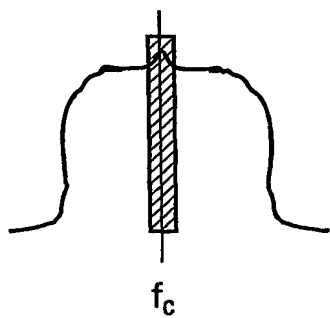


Fig. 2a

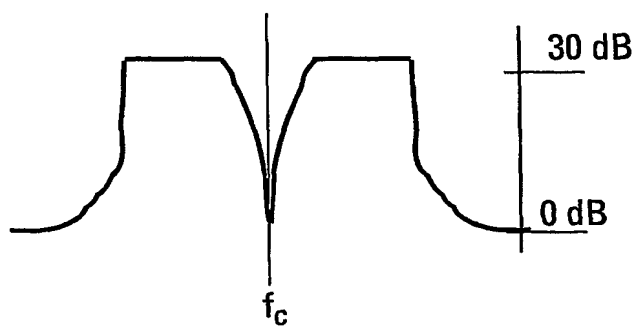


Fig. 2b

2/5

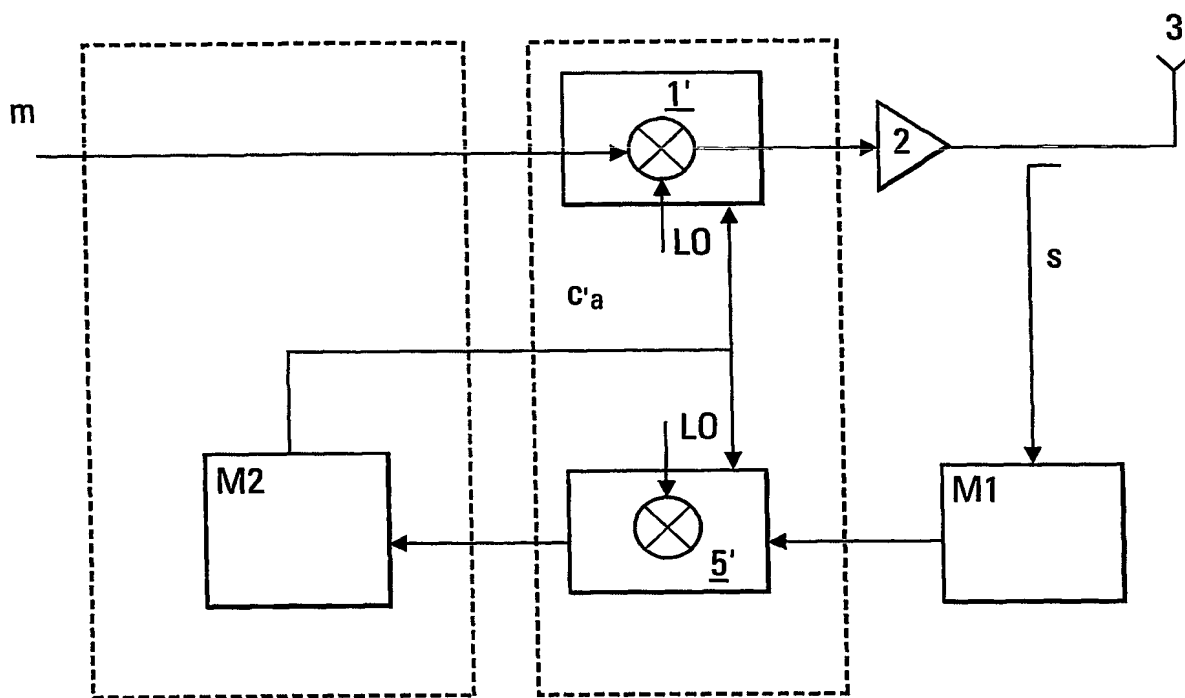


Fig. 3

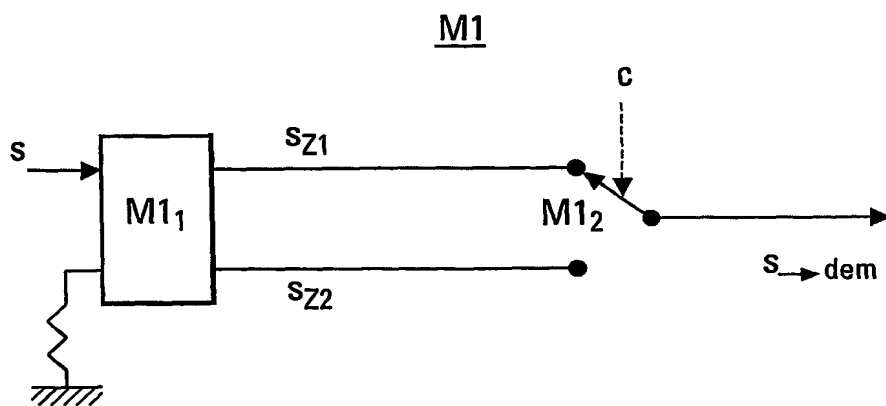


Fig. 4

3/5

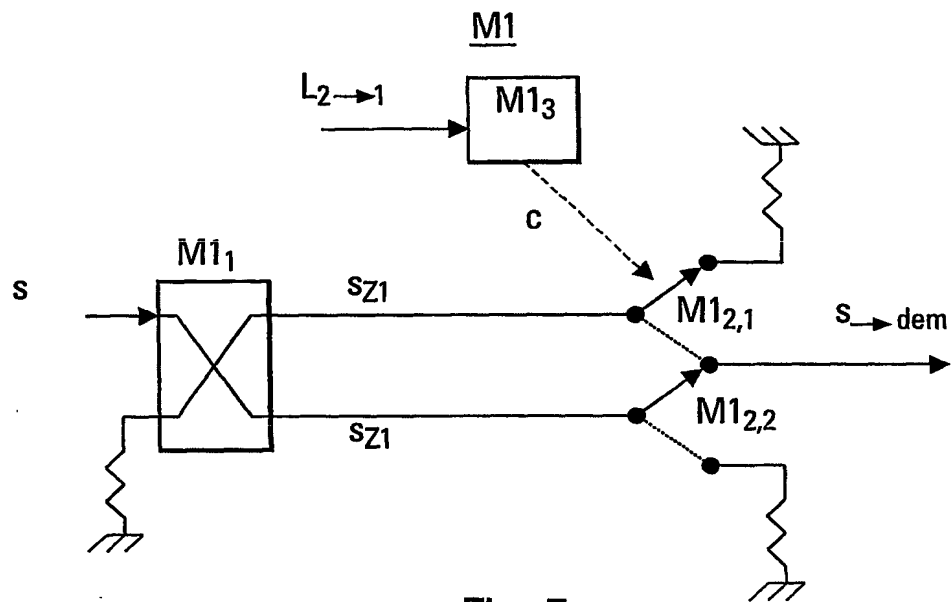


Fig. 5

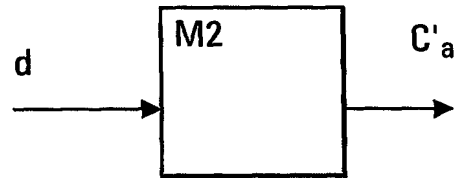


Fig. 6

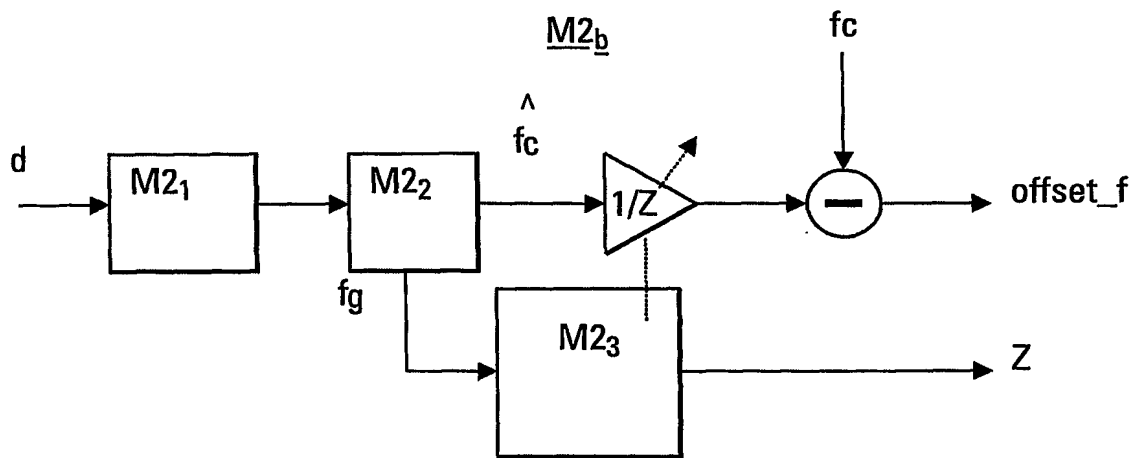


Fig. 7

4/5

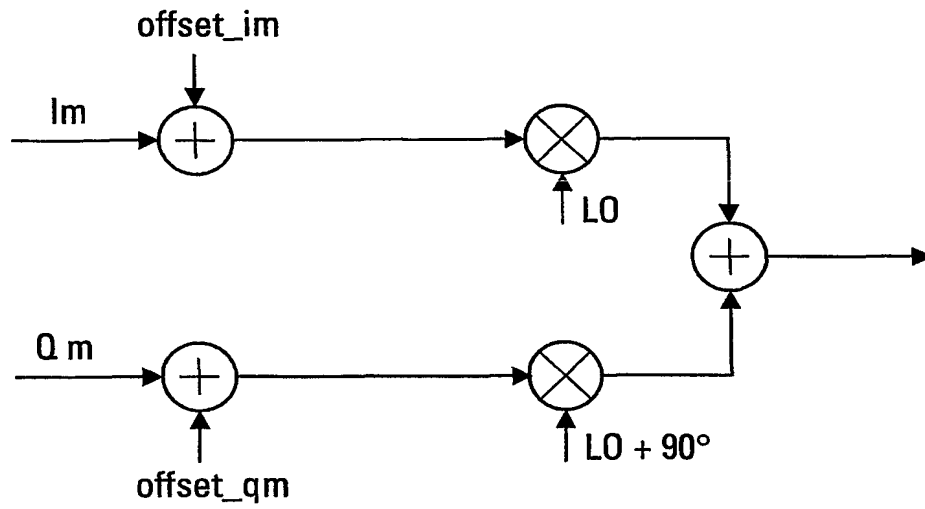


Fig. 8

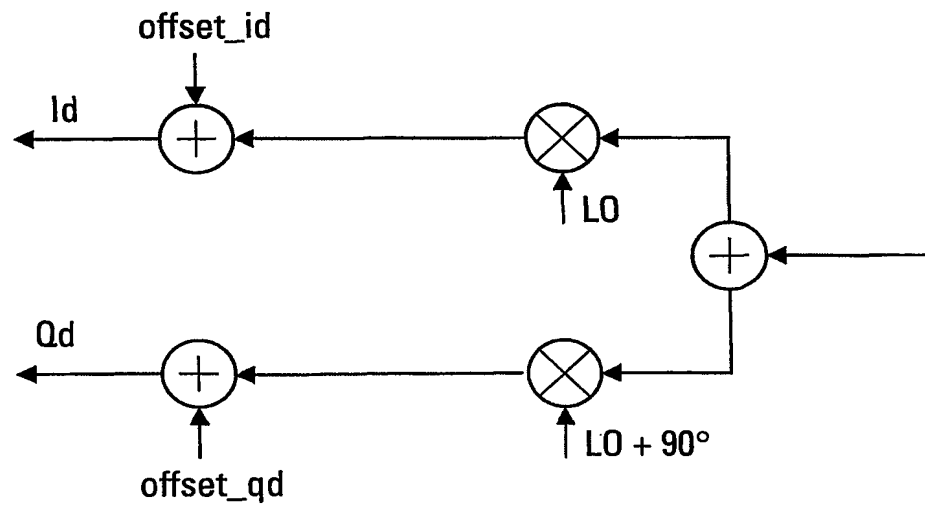


Fig. 9

5/5

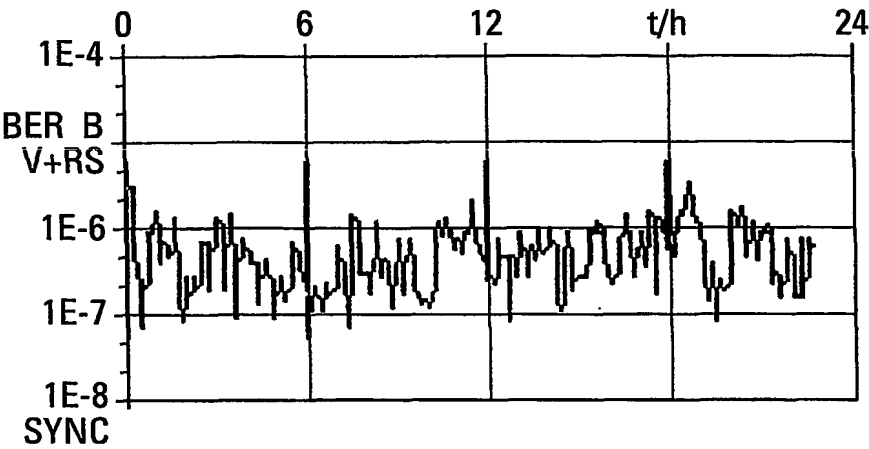


Fig. 10a

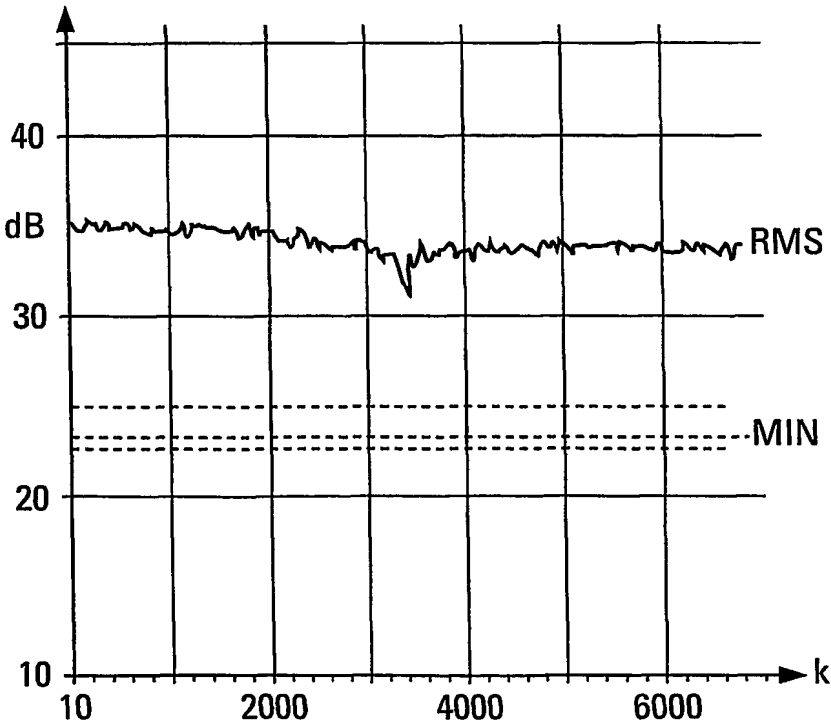


Fig. 10b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/051236

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 028 900 A (TSUJISHITA MASAHIRO ET AL) 22 February 2000 (2000-02-22) column 2, line 19 - line 52	1-16
A	EP 0 689 313 A (JAPAN BROADCASTING CORP ; NIPPON ELECTRIC CO) 27 December 1995 (1995-12-27) abstract figure 10	1-16
A	US 2002/145969 A1 (SAYEED ZULFIQUAR) 10 October 2002 (2002-10-10) paragraph '0011! - paragraph '0014!	1-16



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 August 2004

Date of mailing of the international search report

16/08/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Orozco Roura, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/051236

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6028900	A	22-02-2000	JP 9312627 A DE 19721864 A1 GB 2313527 A , B US 6148045 A	02-12-1997 27-11-1997 26-11-1997 14-11-2000
EP 0689313	A	27-12-1995	JP 2731722 B2 JP 7321762 A AU 684154 B2 AU 2034195 A EP 0689313 A2 US 5596582 A	25-03-1998 08-12-1995 04-12-1997 07-12-1995 27-12-1995 21-01-1997
US 2002145969	A1	10-10-2002	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/EP2004/051236

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H04L27/26

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 H04L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 028 900 A (TSUJISHITA MASAHIRO ET AL) 22 février 2000 (2000-02-22) colonne 2, ligne 19 - ligne 52	1-16
A	EP 0 689 313 A (JAPAN BROADCASTING CORP ; NIPPON ELECTRIC CO) 27 décembre 1995 (1995-12-27) abrégé figure 10	1-16
A	US 2002/145969 A1 (SAYEED ZULFIQUAR) 10 octobre 2002 (2002-10-10) alinéa '0011! - alinéa '0014!	1-16

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

6 août 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/08/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Orozco Roura, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2004/051236

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6028900	A	22-02-2000	JP 9312627 A	02-12-1997
			DE 19721864 A1	27-11-1997
			GB 2313527 A , B	26-11-1997
			US 6148045 A	14-11-2000
EP 0689313	A	27-12-1995	JP 2731722 B2	25-03-1998
			JP 7321762 A	08-12-1995
			AU 684154 B2	04-12-1997
			AU 2034195 A	07-12-1995
			EP 0689313 A2	27-12-1995
			US 5596582 A	21-01-1997
US 2002145969	A1	10-10-2002	AUCUN	